

5. Каиров Э. А., Мاستрюков Б. С., Кривандин В. А. Влияние химического состава расплавленного мартеновского шлака на его радиационные характеристики // Известия вузов. ЧМ. 1970. № 7. С. 155–158.
6. Найдек В. Л., Мельник С. Г., Курпас В. И. Десульфуризирующие свойства активных шлаковых расплавов при полиреагентном ковшевом рафинировании конверторной стали: труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Екатеринбург, 2011. Т. 3. С. 65–66.
7. Оценка серопоглолительной способности металлургических шлаков: труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов» / Д. Н. Тогобицкая, В. П. Пиптюк, Н. Е. Ходотова и др. Екатеринбург, 2011. Т. 4. С. 106–109.
8. Комельков В. К., Ширер Г. В., Воинов С. Г. и др. Вязкость известково-глиноземистых шлаков содержащих окислы Si, Mg фтористый кальций: сборник «Теория металлургических процессов» (ЦНИИМ) / Металлургия: 1968. Вып. 61. С. 16–19.
9. Волосников М. И., Арзамасцев Е. И., Умрихин П. В. Исследование взаимодействия металла с синтетическими шлаками с повышенным содержанием двуокси кремния. Диссертация на соискание уч. степ. канд. техн. наук. Свердловск, 1974. 179 с.
10. Евсеев Г. П., Синюкова Л. И., Филиппов А. Ф. Влияние добавок на температуру плавления шлаков системы  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MnO}$  // Известия вузов. ЧМ. 1966. № 1. С. 74–78.
11. Евсеев Г. П., Филиппов А. Ф. Влияние добавок на электропроводность фтористых и известково-глиноземистых шлаков: сборник «Физико-химические основы производства стали». М., 1968. С. 76–82.
12. Журавлев А. А. Измерение теплофизических свойств шлаковых расплавов при высоких температурах: труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Екатеринбург, 2011. Т. 3. С. 85–87.

УДК 669.051

*Л. А. Зайнуллин, Г. М. Дружинин, А. А. Буткарев*

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ВНИИМТ), г. Екатеринбург, Россия

## **ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ ОАО «ВНИИМТ» ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ**

*Ключевые слова: горн, агломерационная машина, обжиговая конвейерная машина, оптимизация, доменные воздухонагреватели, сушка чугуновозных и сталеразливочных ковшей, доменная печь, припечная грануляция доменного шлака, окалина, контролируемое охлаждение проката.*

ОАО «ВНИИМТ», образованный в 1930 году, более чем за 80-летнюю историю превратился в известную научную организацию, ориентированную на разработку высокоэффективных теплотехнических агрегатов, экономичных и экологически чистых технологий в металлургии, машиностроении и других топливopotребляющих отраслях промышленности.

Институт выполняет полный комплекс работ, включая разработку технологии (технологического задания на новую или модернизируемую технологию или установку), разработку проекта и рабочей документации, поставку оборудования, авторский надзор и пуско-наладочные работы с отработкой технологических режимов и выводом технологии на проектные показатели.

В последние годы ОАО «ВНИИМТ» реализовал десятки инновационных проектов по совершенствованию различных металлургических технологий для крупнейших производств. К наиболее значимым следует отнести:

*Строительство участка производства железнодорожных накладок*, включая оборудование по резке и прошивке полосы, нагревательную печь и закалочное устройство для ОАО «Евраз-НТМК». При этом впервые применена технология заковки водой (против технологии заковки в масле) на основе устройства регулируемого охлаждения конструкции ОАО «ВНИИМТ». Это позволило снизить себестоимость продукции, улучшить экологию и исключить пожароопасность производства.

*Модернизация проходной печи* для термообработки (отпуск и нормализация) насосных штанг с применением новой схемы их транспортировки с помощью шнековых транспортеров для ОАО «Очерский машиностроительный завод» (г. Очер, Пермский край). При модернизации печи использованы рекуперативные горелки, позволившие снизить температуру отходящих газов и экономить топливо, применена футеровка на основе волокнистых огнеупорных материалов.

Эффективные экологичные технологии ОАО «ВНИИМТ» *припечной грануляции доменного шлака* нашли свое применение не только в России, но и на металлургических заводах Китая. В последние годы институтом выполнен базисный инжиниринг, изготовление и поставка части оборудования и пуско-наладочные работы для двух доменных печей (объем 1260 м<sup>3</sup>) Тяньцзиньского металлургического завода и двух печей (объем 4150 м<sup>3</sup>) Баотоуского металлургического комбината. ВНИИМТ владеет запатентованными разработками для сухой грануляции шлака с использованием его физического тепла.

В ОАО «ВНИИМТ» разработан экономичный *горн для зажигания агломерационной шихты* и схемы утилизации тепла, обеспечивающие снижение выбросов в атмосферу аглогаза и пыли на 20 %, оксида углерода на 23 % и окислов азота на 12 %. Агломерационные горны ВНИИМТ работают на ОАО «Высокогорский ГОК», ОАО «Челябинский металлургический комбинат», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Металлургический завод Запорожсталь» (Украина), Металлургический завод в городе Визакхапатнам (Индия).

Методология разработки оптимальных теплотехнических схем *обжиговых конвейерных машин* использована при модернизации действующих обжиговых машин и разработке новых агрегатов по заказу ОАО «Уралмашзавод». Модернизация обжиговой машины № 12 АО «ССГПО» (г. Рудный, Республика Казахстан), выполненная по технологическому заданию и проекту ОАО «ВНИИМТ» обеспечила увеличение производительности обжиговой машины на 11 %.

Эффективные и экологичные *горелочные устройства* конструкции ОАО «ВНИИМТ» для сжигания различных видов топлива используются на различных металлургических агрегатах (обжиговые конвейерные машины, агломерационные машины, вращающиеся печи, нагревательные печи и др.).

Высокотемпературные (до 900 °С) вентиляторы конструкции ОАО «ВНИИМТ» находят широкое применение для интенсификации конвективного теплообмена в нагревательных печах различного типа и внедрены на ОАО «Корпорация ВСМПО–АВИСМА», ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод», ОАО «Синарский трубный завод» и др. За последние пять лет на предприятия черной и цветной металлургии поставлено более 350 промышленных жаропрочных печных вентиляторов конструкции ОАО «ВНИИМТ» для печей различного типа и назначения.

Инновационный стенд сушки чугуновозных ковшей, разработанный и изготовленный ОАО «ВНИИМТ», обеспечивает увеличение срока эксплуатации футеровки более чем в два раза и снижение расхода топлива на их сушку в 5 раз. Внедрен в ОАО «Евраз–НТМК» (г. Нижний Тагил, Свердловской области) и подтвердил свою высокую эффективность.

Основные преимущества стенда ОАО «ВНИИМТ» в сравнении с традиционными:

- эффективные горелочные устройства обеспечивают устойчивое сжигание топлива (природный газ) в широком диапазоне изменения температур (от 30–400 °С в режиме сушки и от 400–900 °С в режиме нагрева) и расходов продуктов сгорания;
- эффективная автоматическая система управления, построенная с использованием математических моделей и алгоритмов оптимизации, обеспечивает высокую точность поддержания требуемого графика изменения температур (отклонение от графика не более 1 %) (рис. 1);

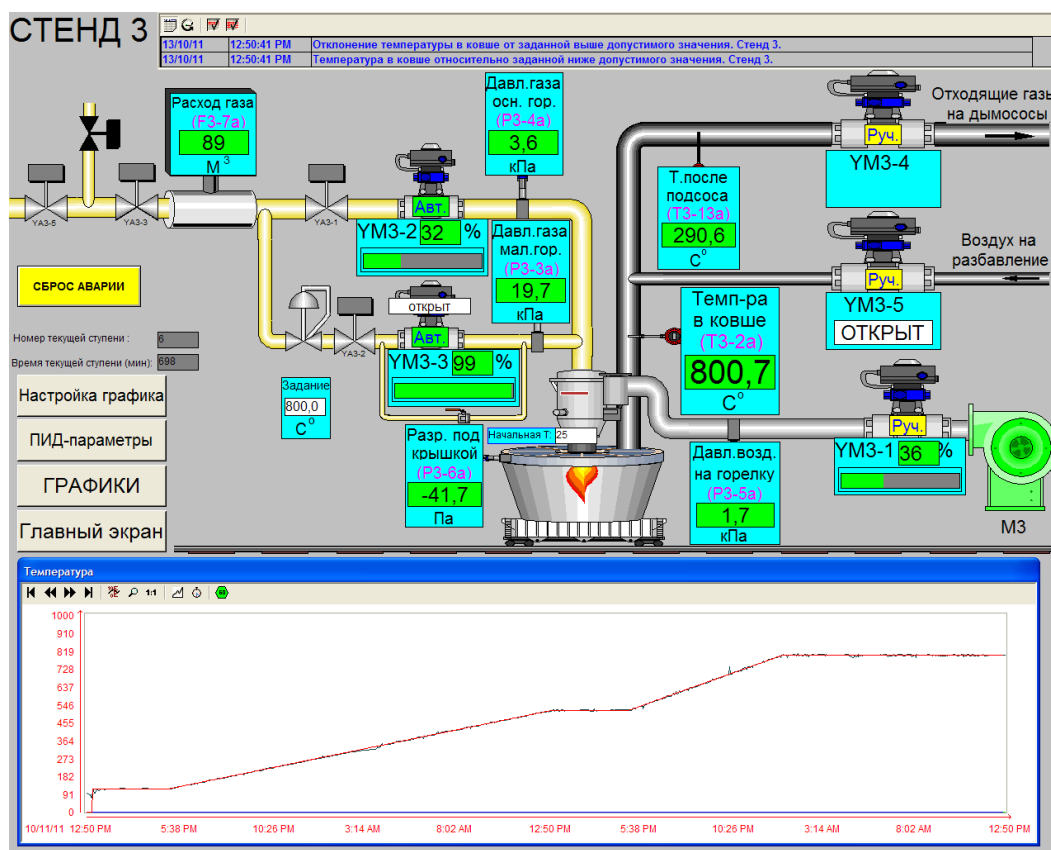


Рис. 1. Автоматическая система управления изменением температур

- эффективное управление динамическими характеристиками факела обеспечивает равномерное обтекание поверхности ковша и высокую равномерность термообработки в различных зонах ковша (разница температур днища и под крышкой не превышает 1,5 %);
- эффективная система автоматического управления температурой и расходом теплоносителя с использованием математических моделей.

Это позволило исключить неравномерность термообработки ковша, высокие колебания температур, снизить потери тепла в окружающую среду.

*Технология переработки маслосодержащей прокатной окалины* позволяет эффективно и экономически оправдано решить экологическую проблему. Замасленная окалина, скопившаяся в больших количествах в отвалах металлургических предприятий, с содержанием масла 8–16 % , влаги 6–18 % после переработки по технологии ОАО «ВНИИМТ» может быть использована в агломерационном производстве, что дополнительно позволит снизить себестоимость конечной продукции и сырьевую зависимость металлургических предприятий.

Основными проблемами, затрудняющими эффективную термическую переработку окалины известными способами (например, во вращающихся печах), являются: образование настывей при повышении температуры процесса; спекание обрабатываемого материала; низкая стойкость огнеупорной футеровки печей; интенсивное сажевыделение; необходимость дожигания горючих компонентов, концентрация которых в отходящих газах не превышает 5–7 %; значительный пылевынос; низкая удельная производительность; повышенные капитальные затраты. Перечисленные недостатки усугубляются колебаниями содержания масла и влаги.

Технология ОАО «ВНИИМТ» свободна от указанных недостатков и основывается на низкотемпературной обработке замасленной окалины высокоскоростным потоком продуктов полного сжигания топлива в установке вихревого (циклонного) типа. При этом обезмасливание достигается путем возгонки масел при нагреве материалов до температуры 400–450 °С без доступа кислорода. Поток теплоносителя, необходимый для тепловой обработки, образуется в результате факельного сжигания топлива и пиролизных газов при минимуме избытка воздуха в топке циклонной печи. В результате в используемых отходящих газах отсутствует свободный кислород или его концентрация минимальна, что предотвращает воспламенение паров масла в рабочем пространстве реактора.

Разработанная технология успешно используется на ОАО «Синарский трубный завод» (г. Каменск-Уральский Свердловской области) и подтвердила свою эффективность и экологичность на других промышленных предприятиях.

На основе опыта внедрения высокоэффективных систем управления технологическими процессами с решением задач оптимального управления с использованием математических моделей была разработана *подсистема оптимального управления работой блока доменных воздухонагревателей*, позволяющая увеличить температуру горячего дутья более чем на 30 °С, что эквивалентно экономии кокса более 1 % без дорогостоящей модернизации и капитальных затрат.

Технологический процесс получения горячего дутья в доменных воздухонагревателях характеризуется:

- большими колебаниями калорийности доменного газа (до 40 %);

- различным износом и повреждениями воздухонагревателей, работающих в блоке, включая («короткие замыкания», оплавление, засорение насадки и пр.);
- сезонными колебаниями температуры воздуха на горение и температуры холодного дутья.

Это приводит к следующим недостаткам, ухудшающим технико-экономические показатели работы блока:

- неполное сгорание газа;
- пониженная температура купола в газовый период;
- недогрев или перегрев насадки воздухонагревателя к концу газового периода, что приводит к большим колебаниям максимальных (до 70 °С) температур в поднасадочном пространстве и др.

Разработанная подсистема оптимального управления, включающая в себя детерминированную математическую модель, алгоритмы идентификации параметров модели и алгоритмы оптимизации, позволяет значительно снизить влияние перечисленных недостатков и обеспечить решение следующих важных задач:

- максимизация температуры купола в газовый период;
- максимизация температуры горячего дутья путем определения оптимальных температурно-временных режимов работы каждого воздухонагревателя;
- определение оптимального расхода продуктов сгорания и его корректировка с целью достижения предельной температуры в поднасадочном пространстве к концу газового периода;
- косвенные измерения параметров, включая непрерывный контроль: температурных полей воздухонагревателя в различных режимах работы (рис. 2); КПД каждого воздухонагревателя и блока в целом; теплового баланса блока и отдельных воздухонагревателей; доли вредных перетоков «камера горения-насадка»;
- диагностика состояния воздухонагревателей.

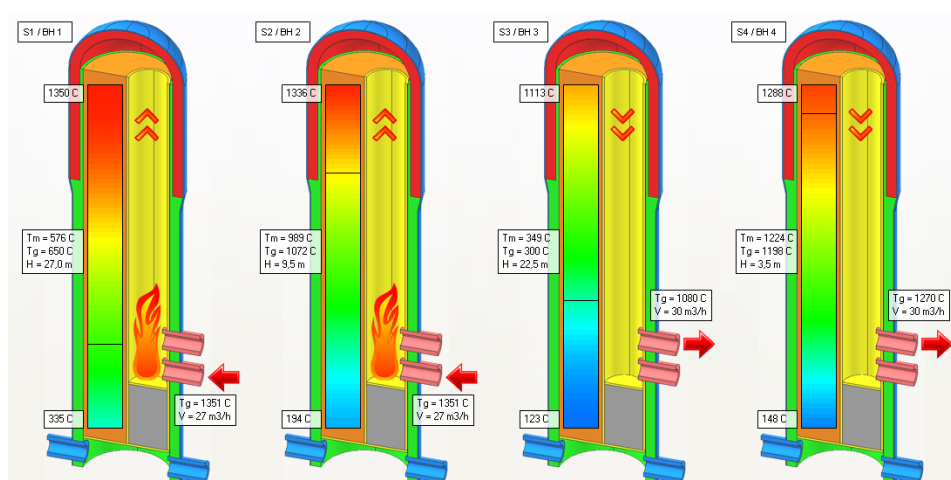


Рис. 2. Фрагмент результатов работы подсистемы оптимального управления работой блока доменных воздухонагревателей

Более подробную информацию о приведенных разработках можно посмотреть в журнале Сталь № 3, 2010 г., посвященном 80-летию ОАО «ВНИИМТ», а также на сайте [www.vniimt.ru](http://www.vniimt.ru).

УДК 669-5

**Б. Б. Зобнин, А. В. Вожегов, И. А. Ажипа**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,  
г. Екатеринбург, Россия

## **АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ**

### **Аннотация**

*Для формирования адекватной реакции систем управления рудоподготовительными комплексами на вариации свойств перерабатываемых руд предложено использовать агентно-ориентированный подход. В качестве приложения разработанной методологии решена задача синтеза эффективных рудоподготовительных технологических комплексов. Новизна технических решений подтверждена семью патентами РФ на изобретения.*

*Ключевые слова: мультиагентные системы, управление сложными технологическими комплексами.*

### **Abstract**

*To establish an adequate control systems reaction Ore-preparation complexes on property variations processed ores proposed use of the agent-oriented approach. As an application of the methodology to solve the problem of synthesis of Ore-preparation of effective technological complexes. The novelty of technical solutions family confirmed by RF patents for inventions.*

На современном этапе экономика России характеризуется высокой ресурсо- и энергоемкостью, в 2–3 раза превышающих удельную энергоемкость экономики развитых стран. Причинами такого положения, кроме суровых климатических условий и территориального фактора, являются сформировавшаяся в течение длительного периода времени структура промышленного производства и нарастающая технологическая отсталость энергоемких отраслей промышленности.

Анализ показывает, что качество отечественного железорудного сырья не соответствует уровню зарубежных конкурентов не только по содержанию железа, но и высокому содержанию диоксида кремния, повышенному содержанию оксидов натрия и калия, низкой основности и прочности окатышей.

Стабилизация качества руды, концентрата и продуктов окускования достигается рациональным управлением соответствующим технологическим режимом. Она также оказывает влияние и на экономику производства: уменьшение средних квадратичных отклонений ве-